

УДК: 623.463; 621.458:006.1

DOI: 10.53816/20753608_2024_2_91

**ПОВЫШЕНИЕ СТЕПЕНИ УНИФИКАЦИИ
ОТЕЧЕСТВЕННЫХ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ КОМПЛЕКСОВ
ЗА СЧЕТ НОВОГО ДАЛЬНОБОЙНОГО СНАРЯДА**

**INCREASING THE DEGREE OF COMMONALITY
OF DOMESTIC ARTILLERY COMPLEXES BY MEANS
OF A NEW LONG-RANGE PROJECTILE**

По представлению академика РАН В.М. Кашина

В.Д. Баскаков, В.Т. Калугин, Л.А. Розанов, Н.И. Сидняев

МГТУ им. Н.Э. Баумана

V.D. Baskakov, V.T. Kalugin, L.A. Rozanov, N.I. Sidnyaev

Рассмотрена возможность повышения уровня унификации артиллерийских комплексов (АК) за счет снарядов с моноблочной комбинированной двигательной установкой (МКДУ). Представлен алгоритм расчета геометрических параметров унифицированной МКДУ. Проведено сравнение расчетных характеристик новых дальнобойных снарядов с зарубежным аналогом. Предложены пути дальнейшей унификации боекомплекта отечественных АК.

Ключевые слова: унификация вооружения, артиллерийский комплекс, моноблочная комбинированная двигательная установка, модульная компоновка.

The prospect of increasing the commonality level of artillery complexes (ACs) by means of projectiles fitted with a single-block integral propulsion system (SBIPS) is discussed. Presented is an algorithm for defining geometric parameters of the common SBIPS. Also presented are the evaluated characteristics of the new long-range projectiles. Ways to further the commonality of Russian ACs' ammunition equipment are proposed.

Keywords: weapons commonality, artillery complex, single-block integral propulsion system, modular design.

Введение

Анализ военно-технического развития зарубежных стран показывает тенденцию к увеличению дальности стрельбы полевой артиллерии, в частности ствольных систем калибра 152 и 155 мм. Многие зарубежные страны поставляют дальнобойные артиллерийские системы вооруженным формированиям, склонным к применению такого вооружения в террористических целях, например для обстрелов городов с мирным

населением [1]. Пресечь такие действия возможно путем контрбатарейной борьбы при помощи отечественных артиллерийских комплексов [2–4].

В нашей стране на вооружении артиллерийских частей находятся три 152-мм артиллерийских комплекса (АК) с различающимися баллистическими характеристиками орудия и габаритно-массовыми характеристиками снаряда — 2С5 «Гиацинт-С», 2С19 «Мста-С» и 2С35 «Коалиция-СВ». Стоит отметить, что некоторые из этих систем уступают по максимальной дальности стрельбы

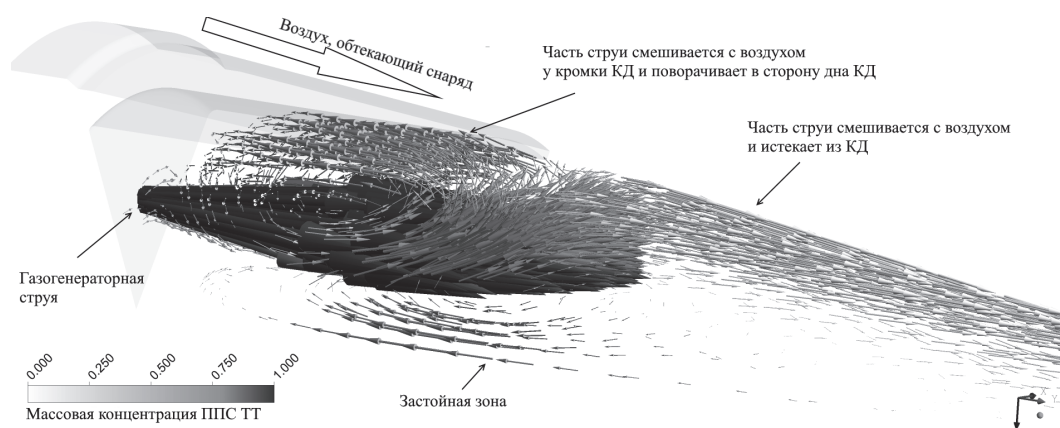


Рис. 1. Траектории газогенераторной струи APC с МКДУ, окрашенные по массовой концентрации ППС ТТ ($M_n = 3,0$)

активно-реактивным снарядом (АРС) зарубежным аналогом, например 155-мм PzH2000 с APC V-LAP. Причем в настоящее время для каждой из этих систем существует отдельный дальнбойный АРС, применение которого возможно только из соответствующего АК. Это затрудняет логистику при ведении контрбатарейной борьбы и усложняет производство боекомплекта. Целесообразным представляется рассмотреть возможность создания унифицированного дальнбойного снаряда для трех указанных АК.

Основная часть

В качестве нового дальнбойного АРС предлагается снаряд с моноблочной комбинированной двигательной установкой (МКДУ) [6]. Проведенные исследования показали его перспективность в качестве образца для АК с высокой баллистикой, что обуславливается одновременным действием на снаряд реакции газогенераторных струй и частичным дожиганием продуктов первичного сгорания твердого топлива (ППС ТТ) в донной области снаряда [7]. В качестве камеры дожигания (КД) используется донная выемка снаряда, воздух в которую поступает за счет вихревого течения в донном следе, перемешиваясь с ППС ТТ (рис. 1).

Численные исследования позволили определить рациональное значение расхода ППС заряда ТТ с постоянной площадью горящей поверхности, соответствующее максимуму дальности при нормальных условиях, а также зависимость коэффициента формы АРС с работающей МКДУ $i_{\text{акт}}$ от удлинения КД $\lambda_{\text{КД}}$ (фактически относительной

глубины донной выемки) и числа Маха полета M_n (рис. 2). Эта зависимость была аппроксимирована полиномами для дальнейшего использования в методике проектирования таких снарядов [8].

Интерес представляет использование такой МКДУ как унифицированной двигательной установки для дальнбойных АРС систем 2С5, 2С19 и 2С35, выполненной в виде отдельного модуля. При создании унифицированной МКДУ необходимо учитывать различия этих АК по основным характеристикам, оказывающим влияние на конструкцию снаряда с точки зрения прочности при выстреле и стабилизации на полете (табл. 1). Все характеристики, представленные в табл. 1, приведены к характеристикам АК 2С19 и снаряда 3ОФ61 для этого АК.

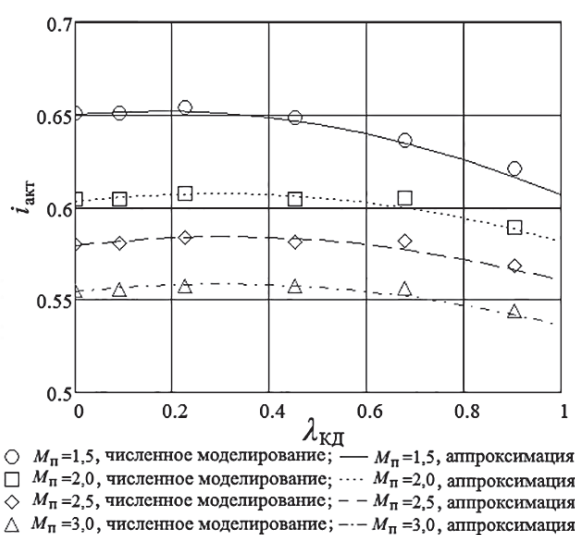


Рис. 2. Графики коэффициента формы АРС с работающей МКДУ $i_{\text{акт}}$ в зависимости от числа Маха полета M_n и удлинения КД $\lambda_{\text{КД}}$

Таблица 1

Характеристики комплексов, использованные для унификации АК по дальнобойному снаряду

Условное обозначение АК	2С19	2С5	2С35 (оценка)
Масса снаряда q_0	1,0	1,056	$\approx 1,1$
Начальная скорость снаряда V_0	1,0	1,153	$\approx 1,2$
Максимальное давление на дно снаряда $p_{\text{сн. max}}$	1,0	1,111	$\approx 1,12$
Длина хода нарезов η	1,0	1,136	$\approx 0,9$
Длина снаряда $l_{\text{сн}}$	1,0	1,0	$\approx 1,1$
Длина запоясковой части снаряда $l_{\text{зап}}$	1,0	1,0	$\approx 0,7$

При оценке гироскопической устойчивости на старте по известной формуле [9, формула (1.30)] длина хода нарезов η для каждого АК принимается постоянной.

Вводится условие минимально допустимой массы разрывного заряда (РЗ) на борту АРС: 1,1 от массы РЗ ближайшего аналога, зарубежного дальнобойного снаряда V-LAP [10]. С учетом длины взрывателя и плотности наполнителя, заданной 1700 кг/м³, этому соответствует минимально допустимая длина боевой части (БЧ) $l_{\text{БЧ. min}} \approx 3,6d$.

Заряд ТТ размещается в камере газогенератора (ГГ), занимающей как цилиндрическую часть АРС (перед и под ведущим пояском), так и коническую часть АРС (запоясковую часть). Длина камеры ГГ и толщина ее стенок определяются из условия прочности стенки АРС в нижнем сечении камеры ГГ, являющемся наиболее опасным. Как показывают расчеты [4], длина КД достаточно слабо влияет на $i_{\text{акт}}$ — его изменение в диапазоне $\lambda_{\text{КД}} = (0 \dots 1)$ составляет не более $\sim 5\%$, и на дальность полета АРС; таким образом, решающее влияние оказывает масса ТТ. Тогда $\lambda_{\text{КД}}$ может определяться исходя не из функционирования МКДУ, а из гироскопической устойчивости АРС, определяемой коэффициентом σ_r . После определения $\lambda_{\text{КД}}$ по этому принципу, ее влияние на полет АРС учитывается ранее выведенной полиномиальной зависимостью (кривые на рис. 2).

Из данных представленных в табл. 1 следует, что унифицированная МКДУ должна быть применима как для «коротких» снарядов с «длинной» запоясковой частью (для АК 2С5 и 2С19), так и для «длинных» снарядов с «короткой» запоясковой частью (для АК типа 2С35). Отсюда определяется длина цилиндрической части корпуса МКДУ $l_{\text{цил}}$:

$$l_{\text{цил}} = l_{\text{сн. min}} - l_{\text{БЧ. min}} - l_{\text{зап. max}},$$

где $l_{\text{сн. min}}$ — минимальная длина снаряда в группе АК, для которых проводится унификация; $l_{\text{зап. max}}$ — максимальная длина запоясковой части снаряда в группе АК, для которых проводится унификация.

Длина запоясковой части АРС с унифицированной МКДУ принимается как наименьшее значение для рассматриваемых АК ($l_{\text{зап. min}}$). Тогда при применении МКДУ на «длинном» снаряде для АК типа 2С35 с той же БЧ, что и для «коротких» снарядов, задел по допустимой длине АРС расходуется нерационально.

Поэтому в настоящей работе принимается, что для АРС к АК типа 2С35 используется отдельная удлиненная БЧ длиной $\approx 4,45d$. Положительными сторонами этого решения являются повышение массы РЗ и возможность удлинить головную часть снаряда, приведя ее к более аэродинамически выгодной форме [5].

Прочностной расчет для определения длины камеры ГГ и толщины ее стенок проводится для нижнего сечения стенки камеры, расположенного в запоясковой части снаряда. На стенку действуют давление наполнителя (заряда ТТ), давление пороховых газов и наседающая нагрузка от БЧ и массы самой стенки. В связи с этим расчет проводится для варианта с наиболее массивной БЧ и наибольшим давлением пороховых газов, т.е. для АК типа 2С35. Принимается, что корпус МКДУ, содержащий камеру ГГ, выполнен из легированной стали со следующими характеристиками: условный предел текучести $\sigma_{0,2} = 1400$ МПа, предел прочности $\sigma_b = 1550$ МПа, модуль Юнга 1-го рода $E = 2,16 \cdot 10^5$ МПа, относительное сужение образца после разрыва $\psi \geq 35\%$, коэффициент динамического упрочнения $K_g = 1,05$. Принято

допущение, что материал корпуса МКДУ может работать в зоне пластических деформаций при условии неперевышения их значения, соответствующего разрушению.

После прочностного расчета стенки ГГ и дна МКДУ, из их геометрических характеристик и длины запясковой части можно найти длину КД. Однако, следуя ранее заданному условию об определении длины КД через σ_r , необходимо выполнить проверку АРС с унифицированной МКДУ на гироскопическую устойчивость при применении из АК, обладающего худшими условиями для гироскопической стабилизации снарядов. В данном случае им является 2С5 ввиду наиболее «пологой» нарезки (табл. 1). При поверочных расчетах σ_r его ми-

нимально допустимое значение принималось $\sigma_{r.min} = 0,7$.

Блок-схема алгоритма создания унифицированной МКДУ представлена на рис. 3. Итоговый вариант АРС с унифицированной МКДУ представлен на рис. 4. Штриховыми линиями на рис. 4 обозначены обводы головной части варианта АРС для АК типа 2С35.

Внешние обводы АРС принимались соответствующими модельному снаряду с МКДУ, для которого были получены зависимости, представленные на рис. 2. Наличие в одном из вариантов АРС удлиненной БЧ потребовало дополнительных исследований, результаты которых также были аппроксимированы полиномиальной зависимостью. При полете на пассивном участке

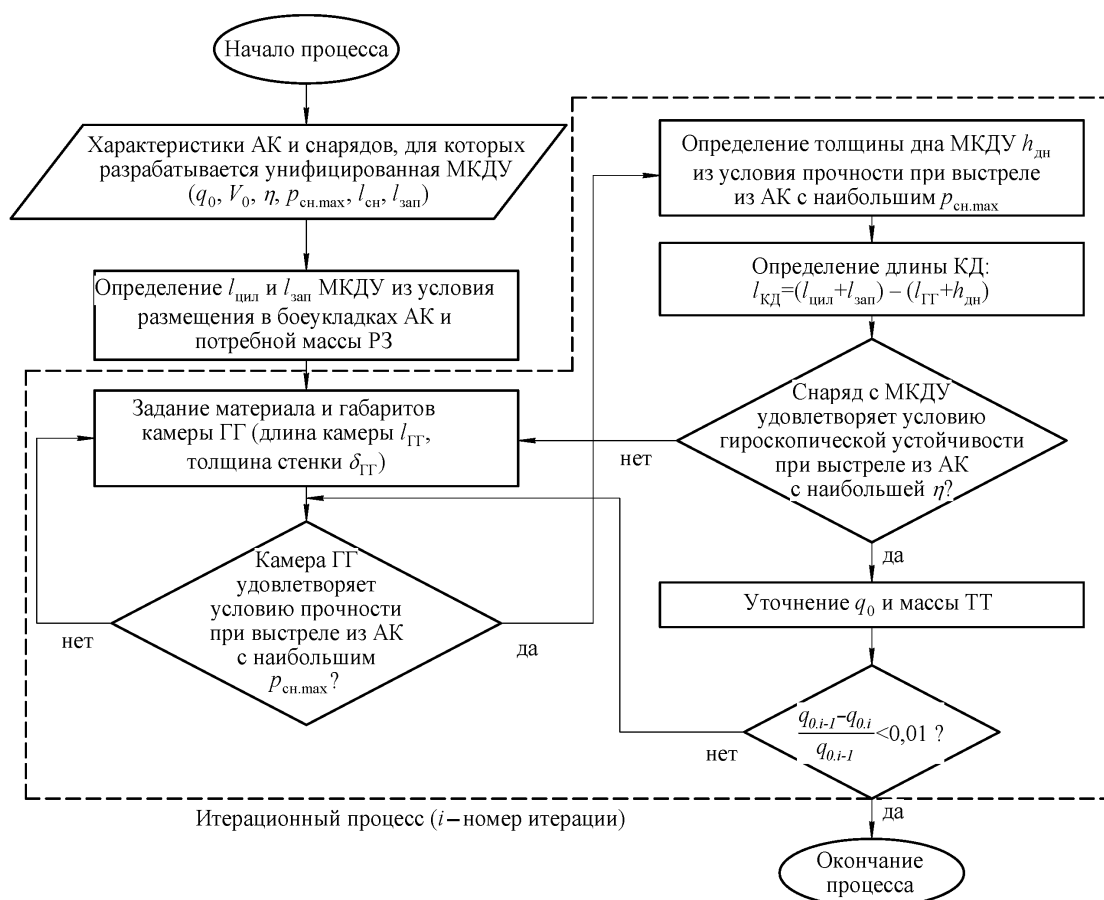


Рис. 3. Блок-схема алгоритма для определения габаритно-массовых характеристик унифицированной МКДУ и ее запаса ТТ

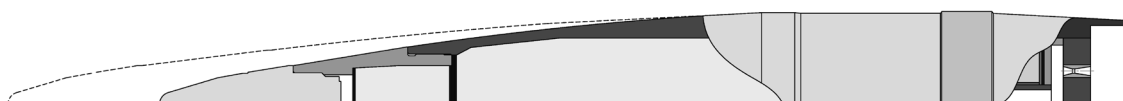


Рис. 4. Дальнобойный АРС с унифицированной МКДУ (модель)

траектории снаряд с удлиненной БЧ обладает на $\approx 7,5\%$ меньшим аэродинамическим сопротивлением, нежели образец с длиной БЧ $3,6d$.

Моменты инерции и координата центра масс снарядов с унифицированной МКДУ определялись по методике, изложенной в [4]. Части АРС со сложной геометрией (т.е. БЧ) аппроксимировались разбиением на конечные элементы dz вдоль оси снаряда, при этом образующие этих частей задавались в виде функции $r(z)$, где r — радиус конечного элемента, z — осевая координата центра масс конечного элемента от носика снаряда.

Для вариантов АРС с унифицированной МКДУ было проведено математическое моделирование полета на максимальную дальность с учетом функционирования МКДУ при помощи математической модели, показавшей удовлетворительную сходимость с результатами стрельбовых испытаний прототипа. При задании V_0 для новых снарядов принималось условие сохранения уровня давления в канале ствола [9]. В качестве ТТ рассматривался известный низкометаллизированный состав, показавший удовлетворительные прочностные и баллистические характеристики на стрельбовых испытаниях. Сравнение результатов для трех снарядов с унифицированной МКДУ с данными по снаряду V-LAP [10] приведено в табл. 2.

Необходимо отметить, что АРС с унифицированной МКДУ обладает на $47\ldots 60\%$ меньшей массой ТТ, чем V-LAP (в зависимости от оценки массы ТТ на борту V-LAP).

Для АРС с унифицированной МКДУ был определен коэффициент межпроектной унификации $K_{\text{му}}$ в соответствии с РД 50-33-80:

$$K_{\text{му}} = \frac{\sum_{i=1}^H n_i - Q}{\sum_{i=1}^H n_i - n_{\text{max}}} \times 100\%, \quad (1)$$

где H — общее количество рассматриваемых изделий; n_i — количество типоразмеров составных частей (СЧ) в i -м изделии, n_{max} — максимальное количество типоразмеров составных частей (СЧ) одного изделия, $Q = \sum_{j=1}^m q_j$ — общее количество СЧ, применяемых в группе из H изделий; q_j — количество СЧ j -го наименования; m — общее количество наименований СЧ. Данные для расчета $K_{\text{му}}$ дальнобойных АРС приведены в табл. 3.

При расчете учитывалось, что БЧ снаряда для АК 2С35 отличается от БЧ снарядов для 2С5 и 2С19 всеми деталями, кроме взрывателя. Ведущий пояс, форма которого различается для всех трех АК, считался отдельной СЧ. В качестве базового изделия взят АРС с МКДУ для 2С19. Прокладки (демпфирующие, теплозащитные) не учитываются. Комплект сопловых вкладышей считается одной СЧ. Таким образом,

$$K_{\text{му}} = \frac{3 \cdot 13 - 19}{3 \cdot 13 - 13} \times 100\% = 76,9\%.$$

На основании изложенных положений об унифицированном дальнобойном снаряде могут проводиться дальнейшие работы по унификации боекомплекта отечественных АК калибра 152 мм. Головная часть от АРС с МКДУ может использоваться на других боеприпасах, например осколочно-фугасном снаряде (ОФС) или управляемом снаряде (УС) — рис. 5. Во втором случае появляется возможность использовать на УС штатные взрыватели от неуправляемых образцов.

Предполагается, что корпусная деталь, служащая для размещения дополнительного РЗ, едина для всех вариантов ОФС и всех вариантов УС по аналогии с корпусной деталью МКДУ, и ее характеристики также обоснованы подобным образом (рис. 3). Принято допущение, что на всех вариантах ОФС будет возможным применить один и тот же заряд ТТ для донного ГГ.

Таблица 2

Сравнение АРС с унифицированной МКДУ и АРС V-LAP

Тип снаряда и АК	Максимальная дальность	Масса РЗ
V-LAP (АК с длиной ствола 39d)	1,0	1,0
V-LAP (АК с длиной ствола 52d)	1,317	1,0
АРС с МКДУ (АК 2С19)	0,777	1,116
АРС с МКДУ (АК 2С5)	1,105	1,116
АРС с МКДУ (АК 2С35, оценка)	1,346	1,477

Таблица 3

Данные для расчета коэффициента межпроектной унификации дальнобойных АРС
(+ — одинаковые типоразмеры СЧ одного наименования, Δ — различные типоразмеры СЧ)

Позиция	Наименование СЧ	Индекс АК			q_i
		2С19	2С5	2С35	
		n_1	n_2	n_3	
1	Взрыватель	+	+	+	1
2	Втулка переходная	+	+	Δ	2
3	РЗ втулки переходной	+	+	Δ	2
4	Головка	+	+	Δ	2
5	РЗ головки	+	+	Δ	2
6	Корпус ГГ	+	+	+	1
7	Ведущий пояс	+	Δ	Δ	3
8	Заряд топлива	+	+	+	1
9	Опорная трубка заряда	+	+	+	1
10	Опорное дно заряда	+	+	+	1
11	Дно МКДУ	+	+	+	1
12	Сопловые вкладыши	+	+	+	1
13	Обтекатель кормовой	+	+	+	1
	Итого:	13	13	13	19

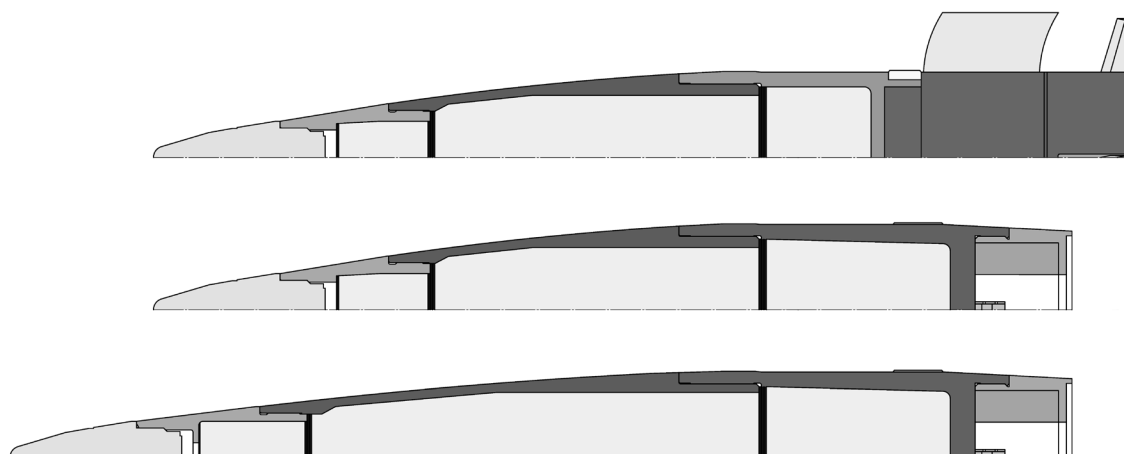


Рис. 5. Варианты ОФС и УС с повышенной степенью унификации. Вверху — УС с головной частью, заимствованной от дальнобойного АРС; посередине — ОФС для АК с «длинной» запоясковой частью и «коротким» снарядом (2С19, 2С5); внизу — ОФС для АК с «короткой» запоясковой частью и «длинным» снарядом (типа 2С35)

Габариты заряда при этом определяются исходя из условия прочности корпусной детали донного ГГ по аналогии с процессом, изложенным в блок-схеме алгоритма, рис. 3.

Предварительная оценка показывает, что такие ОФС в вариантах для АК типа 2С19, 2С5 могут иметь суммарную массу РЗ на уровне снаряда 3ОФ61, а в варианте для АК типа 2С35 этот показатель составляет порядка 1,15 от массы

РЗ 3ОФ61. Данные для расчета $K_{\text{му}}$ таких ОФС приведены в табл. 4. Согласно формуле (1), при таком подходе к формированию технического облика ОФС $K_{\text{му}} = 72,7 \%$.

В табл. 5 приведены данные, позволяющие определить $K_{\text{му}}$ для комплекта снарядов, построенных по предложенной схеме: дальнобойный АРС с унифицированной МКДУ, ОФС с головной частью от дальнобойного АРС

Таблица 4

Данные для расчета коэффициента межпроектной унификации ОФС с боевой частью, построенной на базе унифицированного дальнобойного АРС

Позиция	Наименование СЧ	Индекс АК			q_i
		2С19	2С5	2С35	
		n_1	n_2	n_3	
1	Взрыватель	+	+	+	1
2	Втулка переходная	+	+	Δ	2
3	РЗ втулки переходной	+	+	Δ	2
4	Головка	+	+	Δ	2
5	РЗ головки	+	+	Δ	2
6	Корпусная деталь боевой части	+	+	+	1
7	Ведущий пояс	+	Δ	Δ	3
8	Дополнительный РЗ боевой части	+	+	+	1
9	Заряд ТТ для донного ГГ	+	+	+	1
10	Корпус донного ГГ	+	+	+	1
11	Сопроводитель горения	+	+	+	1
	Итого:	11	11	11	17

Таблица 5

Данные для расчета коэффициента межпроектной унификации ОФС, дальнобойного АРС и УС

Позиция	Наименование СЧ	Индекс АК			q_i
		2С19	2С5	2С35	
		n_1	n_2	n_3	
1	Головная часть	+	+	Δ	2
2	МКДУ	+	+	+	1
3	Цилиндрическая часть ОФС с дополнительным РЗ	+	+	+	1
4	Цилиндрическая часть УС с дополнительным РЗ	+	+	+	1
5	Ведущий пояс	+	Δ	Δ	3
6	Проскальзывающий пояс-обтюратор УС	+	Δ	Δ	3
7	Донный ГГ	+	+	Δ	2
8	Аппаратурный отсек УС	+	Δ	Δ	3
	Итого:	8	8	8	16

и унифицированной корпусной частью, содержащей дополнительный РЗ, и УС с головной частью от дальнобойного АРС и унифицированной корпусной частью, содержащей дополнительный РЗ. Расчет проведен для боекомплекта, состоящего из отдельных модулей. При расчете принято, что УС для трех АК различаются аппаратурными отсеками и поясками-обтюраторами ввиду разных уровней перегрузок, реализуемых при выстреле из этих АК. Согласно формуле (1), для такого варианта боекомплекта $K_{\text{му}} = 50,0 \%$.

Выводы

Результаты проработки АРС с унифицированной МКДУ показывают не только высокий коэффициент унификации новых дальнобойных снарядов ($\approx 77 \%$), но и преимущества по максимальной дальности и массе РЗ перед одним из наиболее дальнобойных зарубежных АРС. Однако остается ряд нюансов, требующих дальнейшей проработки. К ним относятся вопросы прочности заряда ТТ при пластической деформации корпуса ГГ в районе опасного

сечения, вопрос центрирования снаряда с удлиненной БЧ в канале ствола, а также сравнительно низкая дальность стрельбы из АК 2С19. В первом случае это может быть решено оптимизацией внешних обводов запоясковой части АРС. Во втором — выполнением центрирующих выступов на оживальной части снаряда или применением отделяющихся секторных центрирующих колец. В третьем — применением нового дальнобойного метательного заряда, обладающего пониженной зависимостью баллистических характеристик от температуры заряда, или другого топливного состава для МКДУ с повышенной удельной теплотворной способностью.

Намеченные пути дальнейшего повышения унификации АК калибра 152 мм показывают, что существует возможность унифицировать боекомплект, состоящий из дальнобойного АРС, ОФС и УС на 50 %.

Литература

1. Добрунов М.В. В ДНР заметили переход ВСУ на самую дальнобойную артиллерию [Электронный ресурс] // РБК: сайт. URL: <https://www.rbc.ru/politics/29/10/2022/635c84e09a7947b97c8cb d2a> (дата обращения: 13.06.2023).
2. Литвиненко В., Цеханович Д. Особенности организации контрбатарейной борьбы в специальной военной операции [Электронный ресурс] // Армейский сборник. Журнал Министерства обороны Российской Федерации: сайт. URL: <https://army.ric.mil.ru/Stati/item/424559/> (дата обращения: 13.06.2023).
3. Докучаев А. Война по-украински: артиллерийские дуэли решают все [Электронный ресурс] // Еженедельник «Звезда»: сайт. URL: <https://zvezdaweekly.ru/news/20227271310-Ob2nL.html> (дата обращения: 13.06.2023).
4. Parsons D. Ukrainian War Validates Pursuing Very Long-Range Artillery Army Says [Электронный ресурс] // The Drive: сайт. URL: <https://www.thedrive.com/the-war-zone/ukraine-war-validates-pursuing-very-long-range-artillery-army-says> (дата обращения: 13.06.2023).
5. Розанов Л.А., Смирнов В.Е. Концепция унифицированного управляемого артиллерийского боеприпаса и возможности ее реализации // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2019. № 1–2 (127–128). С. 93–99.
6. Способ увеличения дальности полета активно-реактивного снаряда и активно-реактивный снаряд с моноблочной комбинированной двигательной установкой (варианты): пат. 2751311 Рос. Федерация № 2020118026; заявл. 01.06.2020; опубл. 13.07.2021. Бюл. № 20. 15 с.
7. Перспективы улучшения баллистических характеристик современных дальнобойных снарядов / Л.А. Розанов [и др.] // Оборонная техника. 2017. № 10. С. 56–62.
8. Смирнов В.Е., Розанов Л.А. Адаптация нового типа моноблочной комбинированной двигательной установки к практике конструирования активно-реактивных снарядов // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2020. № 4. С. 101–106.
9. Смирнов В.Е., Никитина И.Е., Розанов Л.А. Основы проектирования активно-реактивных снарядов с прямоточным воздушно-реактивным двигателем на твердом топливе: учеб. пособие. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2022. 330 с.
10. Assegai Projectile Family // American Rheinmetall Munitions Inc. – URL: https://www.rheinmetall.com/media/editor_media/rheinmetallag/events/ausa_2022/american_rheinmetall_munitions/B171us0921_ARM_Asegai_Projectile_Suite_LR.pdf (дата обращения: 13.06.2023).